



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①0 DE 41 30 935 A 1

⑤1 Int. Cl. 5:  
G 01 N 29/22  
G 01 N 27/83

②1 Aktenzeichen: P 41 30 935.9  
②2 Anmeldetag: 13. 9. 91  
④3 Offenlegungstag: 25. 3. 93

DE 41 30 935 A 1

⑦1 Anmelder:  
Mannesmann AG, 4000 Düsseldorf, DE

⑦4 Vertreter:  
Meissner, P., Dipl.-Ing.; Presting, H., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 1000 Berlin

⑦2 Erfinder:  
Wächter, Michael, Dr.rer.nat., 4030 Ratingen, DE

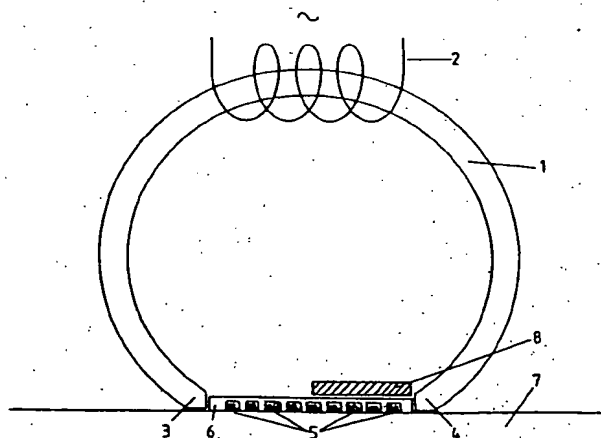
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung für ferromagnetische Werkstücke mittels Ultraschallwellen, wobei über ein an die Oberfläche des Werkstückes angelegtes, mit Wechselstrom erregtes Magnetsystem ein alternierendes, parallel zur Oberfläche im Werkstück ausgerichtetes Magnetisierungsfeld erzeugt wird und durch ein in der Nähe der Oberfläche des Werkstückes angeordnetes gekoppeltes Sende-Empfangsspulensystem Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden, die nach dem Senden aufgrund induktiver Kopplungen zu einer Übersteuerung des Empfangssystems führen.

Um auch prüfkopfnähe Werkstückfehler bei Winkелеinschaltung im Bereich von < 10 mm nachweisbar und Wanddicken < 2 mm messen zu können, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß im Bereich der Erholungsphase des Empfangssystems durch eine geeignete elektrische oder induktive Einkopplung in das Empfangssystem das Ausklingen gedämpft wird.

Bei der Prüfvorrichtung liegen erfindungsgemäß die beiden Polschuhe (3, 4) des Magnetjoches (1) dicht an den Sende-Empfangsmäandern (5) an und auf der des Prüflings abgewandten Seite der Mäander (5) ist ein mit einem Polschuh (4) des Wechselfeldmagneten magnetisch leitend verbundenes ferromagnetisches Koppelstück (8) angeordnet.



DE 41 30 935 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen gemäß dem Gattungsbegriff des Hauptanspruches.

Bei der elektrodynamischen Ultraschallprüfung mit gekoppelten Sende-Empfangssystemen kommt es aufgrund von induktiven Kopplungen während und direkt nach dem Senden zu einer Übersteuerung des Empfangssystems. Für eine gewisse Zeit nach dem Senden können keine Ultraschallsignale empfangen werden. Da man auch prüfkopfnähe Fehler im Werkstück nachweisen und geringe Wanddicken messen will, ist man bestrebt, die sogenannte Tot-Zone möglichst klein zu halten.

Zur Verringerung der Tot-Zone sind verschiedene Maßnahmen ergriffen worden, so zum Beispiel die Unterdrückung der nicht erwünschten Ultraschallanregungen durch den Einbau von schalldämpfenden Mitteln (DE 38 34 248).

Damit war es möglich, bei der elektrodynamischen Fehlerprüfung (Winkелеinschallung) die Tot-Zone auf 15 bis 12 Mikrosekunden zu verkürzen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zum Prüfen von ferromagnetischen Werkstücken mittels Ultraschallwellen mit einem gekoppelten Sende- und Empfangsspulensystem anzugeben, mit dem prüfkopfnähe Fehler bei Winkелеinschallung im Bereich von < 10 mm nachweisbar und Wanddicken < 2 mm gemessen werden können.

Diese Aufgabe wird mit den im kennzeichnenden Teil des Hauptanspruches angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sind Bestandteil von Unteransprüchen.

Zum besseren Verständnis der bisher vorgenommenen totzonenverkürzenden Maßnahmen ist es zweckmäßig, die Tot-Zone in drei Bereiche zu unterteilen:

Einen ersten Bereich, in dem der Sendestrom auf die Sendespulen gegeben wird. Hier wird über den Trafoeffekt des Empfangssystems zu erzwungenen, übersteuerten Schwingungen angeregt.

Einen zweiten Bereich, die Erholungsphase des Empfangssystems. Hier fängt das System bedingt an zu arbeiten, indem es von der letzten durch den Sendestrom erzwungenen Übersteuerung langsam auf die Nulllinie einschwingt.

Einen dritten Bereich, wo das Gesamtsystem durch Ultraschallschwingungen selbst angeregt wird, wobei die beiden erstgenannten Bereiche elektrisch bedingt sind.

Eine Verkürzung der Tot-Zone bei gekoppelten Sende-Empfangsspulensystemen kann über die Unterdrückung unerwünschter Ultraschallanregung im Prüfkopf selbst (Bereich 3) hinaus nur über den zweiten Bereich der Tot-Zone, die Erholungsphase des Empfangssystems erfolgen. Dazu wird vorgeschlagen, durch eine geeignete elektrische oder induktive Einkopplung in das Empfangssystem das Ausklingen zu dämpfen, wobei die im Empfangssystem erfolgte Einkopplung der letzten durch den Sendestrom erzeugten Übersteuerung entgegengerichtet ist. Mit dieser Maßnahme wird die Tot-Zone z. B. bei einer Winkелеinschallung auf Werte von kleiner 7 Mikrosekunden reduziert.

Bei einer elektrischen Einkopplung muß zunächst der zeitliche Amplitudenverlauf des in den Empfangskreis eingekoppelten Signals an den Verlauf der Erholungsphase des Empfangssystems (Bereich 2) angepaßt wer-

den. Ist der Amplitudenverlauf ermittelt, so muß dieser mit jedem Sendepuls entsprechend zeitsynchronisiert in das Empfangssystem eingespeist werden. Durch geeignete, bekannte elektronische Schaltungen muß die für die elektrische Einkopplung erforderliche Signalquelle vor während des ersten Bereichs der Tot-Zone im Empfangssystem induzierten Hochspannungen geschützt werden.

Die vorgeschlagene Maßnahme zur Dämpfung der Übersteuerung beim Ausklingen ist dann besonders wirksam, wenn ein Teil des magnetischen Wechselfeldes, das zur koppelmittelfreien, magnetostriktiven Ultraschallanregung erforderlich ist, in das Spulensystem induktiv eingekoppelt wird.

Für die praktische Realisierung wird eine Prüfvorrichtung vorgeschlagen, bei der die beiden Polschuhe des Magnetjoches direkt an den Sender- und Empfangsmäander anliegen und auf der prüflingsabgewandten Seite der Mäander ein mit einem Polschuh des Wechselfeldmagneten magnetisch leitend verbundenes ferromagnetisches Koppelstück angeordnet ist. Dieses Koppelstück wird vorzugsweise aus einem an sich bekannten weichmagnetischen Pulververbundwerkstoff mit geringer elektrischer Leitfähigkeit unter dem Handelsnamen Corovac (siehe Prospekt der Firma Vacuumschmelze/Hanau, Ausgabe 3/87) hergestellt und überdeckt ein Drittel bis zwei Drittel des Polschuhabstandes bzw. der Mäanderrückseite. Die gewünschte Tot-Zonen-Verringerung wird aber nur dann erreicht, wenn die im Empfangssystem hervorgerufene Induktion amplitudenmäßig so abgestimmt ist, daß sie durch den Sendestrom verursachte ausklingende Übersteuerung kompensiert und das Nachschwingen des Empfangssystems dämpft. Die Amplitude der induktiven Einkopplung im Empfangssystem kann beeinflußt werden durch

- die Amplitude und das Anstiegs- bzw. Abklingverhalten des magnetischen Wechselfeldes
- die Wahl des Werkstoffs des Koppelstückes
- die Veränderung des Abstandes Koppelteil zu Mäanderrückseite
- die Veränderung des Abstandes Koppelteil zu Polschuh.

Für die beiden letztgenannten Einflußfaktoren wird vorzugsweise für den Abstand Koppelstück/Mäanderrückseite ein Wert von 0,5 mm und für den Abstand Koppelstück zu Polschuh ein Wert gegen 0 mm vorgeschlagen. Dies bedeutet, daß im Sonderfall das Koppelstück direkt am Polschuh anliegt. Bei dieser Konstellation ist aber darauf zu achten, daß das induktiv eingekoppelte Magnetfeld nicht zu stark wird, so daß die Übersteuerung überkompensiert wird und negative Werte annimmt. Besonders vorteilhaft ist die Prüfvorrichtung dann, wenn das Magnetjoch als Ringjoch ausgebildet ist.

In der Zeichnung werden anhand einiger Darstellungen das erfindungsgemäße Verfahren sowie die erfindungsgemäße Vorrichtung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen US-Prüfvorrichtung,

Fig. 2 ein A-Bild mit horizontalem Magnetfeld aber ohne Einkopplung,

Fig. 3 wie Fig. 2 jedoch mit optimaler induktiver Einkopplung,

Fig. 4a Darstellung des Magnetstromverlaufes mit synchronisierter elektrodynamischer Prüfung und opti-

maler induktiver Einkoppelung,

Fig. 4b wie Fig. 4a aber in laufzeitmäßig gespreizter Darstellung,

Fig. 5a wie Fig. 4a aber mit entgegengesetzt gerichteter induktiver Einkoppelung,

Fig. 5b wie Fig. 5a aber in laufzeitmäßig gespreizter Darstellung.

Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung die erfindungsgemäße US-Prüfvorrichtung. Zur Erzeugung des horizontalen magnetischen Wechselfeldes weist die Prüfvorrichtung als Magneten ein Ringjoch 1 und eine Wechselfeldspule 2 auf. Zwischen den Polschuhen 3, 4 des Magneten 1 ist das Spulensystem, hier ausgebildet als Sende- und Empfangsmäander 5, angeordnet. Das Spulensystem 5 wird gehalten durch einen unmagnetischen Wandlerträger 6, z. B. Kunststoff. Das zu prüfende Werkstück 7 bewegt sich dicht unterhalb des Spulensystems 5 relativ zur Prüfvorrichtung. Für die erfindungsgemäße Einkoppelung ist auf der prüflingsabgewandten Seite des Spulensystems 5 ein ferromagnetisches Koppelstück 8 angeordnet. Dieses bedeckt einen Teil des Spulensystems 5, hier in dieser Darstellung beispielsweise etwa 50% der Breite. Um eine optimale Kompensation der Übersteuerung des Empfangssystems zu erreichen, ist der Abstand Kopplungsstück 8/Spulensystem 5 und auch der Abstand Kopplungsstück 8/Polschuh 4 veränderbar. Für den erstgenannten Abstand liegt die Variationsbreite im Bereich von 0–1 mm und für den zweitgenannten Abstand im Bereich von 0–10 mm.

Die Wirkung der vorgeschlagenen induktiven Einkoppelung ist in den nachfolgenden Fig. 2–5 dargestellt. Fig. 2 zeigt das A-Bild mit horizontalem Magnetfeld ohne die erfindungsgemäße Einkoppelung. Der erste Bereich der Impulsabfolge ist der Bereich 10 der erzwungenen Schwingung. Der anschließende Bereich ist der Bereich 11 der Erholungsphase des Empfangssystems. Die Summe aus beiden ist der Totzonenbereich 12, der für eine Signalauswertung nicht genutzt werden kann. In diesem Beispiel wurde ein künstlicher Fehler 13 angeschallt, der weit genug entfernt angeordnet war, so daß er auch mit der sehr breiten Totzone 12 identifiziert werden konnte. Die erfindungsgemäße Verbesserung zeigt Fig. 3, bei der durch eine optimale induktive Einkoppelung der Bereich der Erholungsphase 11 nahezu gegen Null kompensiert wurde und die verbleibende Totzone 12.1 praktisch mit dem Bereich der erzwungenen Schwingung 10 zusammenfällt.

In den Fig. 4a und 5a ist zusätzlich zum Prüfbild der Magnetstromverlauf 14, 14.1 mit aufgetragen worden. In Fig. 4a ist der Magnetstromverlauf 14 optimal im Sinne der Kompensation und das laufzeitmäßig gespreizte Bild Fig. 4b zeigt deutlich die stark verkürzte Totzone 12.1 und das eindeutig identifizierbare Fehlerecho 13.1. Der Vollständigkeit halber ist in dieser Darstellung auch noch das Kantenecho 15 mit abgebildet. Demgegenüber ist in Fig. 5a die Situation dargestellt, die sich ergibt, wenn der Magnetstromverlauf 14.1 invertiert wird. Das ist gleichbedeutend mit einem Wechsel der magnetischen Polung des Ringmagneten 1. Dann vergrößert sich die Totzone 12.3 wieder ganz erheblich und die Prüfempfindlichkeit wird so stark verschlechtert, daß das Fehlerecho 13.1 nicht mehr zu erkennen ist. Unverändert dagegen ist das Kantenecho 15 eindeutig zu identifizieren.

1. Verfahren zum Prüfen ferromagnetischer Werkstücke mittels Ultraschallwellen, wobei über ein an die Oberfläche des Werkstückes angelegtes, mit Wechselstrom erregtes Magnetsystem ein alternierendes, parallel zur Oberfläche im Werkstück ausgerichtetes Magnetisierungsfeld erzeugt wird und durch ein in der Nähe der Oberfläche des Werkstückes angeordnetes gekoppeltes Sende-Empfangsspulensystem Hochfrequenz-Sendeimpulse ausgelöst werden, die nach dem Senden aufgrund induktiver Kopplungen zu einer Übersteuerung des Empfangssystems führen, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Erholungsphase des Empfangssystems durch eine geeignete elektrische oder induktive Einkopplung in das Empfangssystem das Ausklingen gedämpft wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil des magnetischen Wechselfeldes in das Spulensystem induktiv eingekoppelt wird, wobei die im Empfangssystem durch das Wechselfeld hervorgerufene Induktion der letzten durch den Sendestrom erzwungenen Übersteuerung entgegengerichtet ist.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 bestehend aus einem Magnetjoch und einem zwischen den Polschuhen des Magnetjoches angeordneten gekoppelten Sende- und Empfangsspulensystem mit ineinander verschachtelten Sende- und Empfangsmäandern, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Polschuhe (3, 4) des Magnetjoches (1) dicht an den Sende- und Empfangsmäandern (5) anliegen und auf der prüflingsabgewandten Seite der Mäander (5) ein mit einem Polschuh (4) des Wechselfeldmagneten magnetisch leitend verbundenes ferromagnetisches Koppelstück (8) angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das ferromagnetische Koppelstück (8) ein Drittel bis zwei Drittel des Polschuhabstandes (3, 4) bzw. der Mäanderrückseite (5) überdeckt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen ferromagnetischem Koppelstück (8) und Mäanderrückseite (5) im Bereich von 0 bis 1 mm liegt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen dem ferromagnetischen Koppelstück (8) und dem Polschuh (4) im Bereich von 0 bis 10 mm liegt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das ferromagnetische Koppelstück (8) aus einem an sich bekannten weichmagnetischen Pulververbundwerkstoff mit geringer elektrischer Leitfähigkeit hergestellt ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetjoch als Ringjoch (1) ausgebildet ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

